

成功の 10 年： 補聴器業界をリードし続ける Siemens e2e ワイヤレス

www.siemens.com

SIEMENS

Rebecca Herbig (聴能学博士)
Roland Barthel (工学学士)

摘要：

Siemens e2e ワイヤレスは、両耳フィッティングの際に2つの補聴器の情報と機能を一体的に交換することを可能にした初めてのワイヤレスシステムであった。それ以降、e2e ワイヤレスは補聴器業界をリードし続けている。本稿では、e2e ワイヤレスの歴史の概要、Siemens micon プラットフォームにおける新たなワイヤレスの進歩、そして得られる効果について述べる。

Siemens の e2e ワイヤレス技術は、2012 年に権威あるドイツ未来賞を獲得した。この賞は、ドイツ連邦大統領から年 1 回授与される技術革新に対するドイツ最高の名誉である。e2e 技術は、両耳フィッティングにおいて 2 つの補聴器の情報と機能を互いに交換することを可能にした初のワイヤレスシステムである。それ以降、e2e ワイヤレスは補聴器業界をリードし続けており、その結果今日では、この技術を使用した同様の製品が主要な補聴器メーカーから提供されている。ドイツ未来賞は、Siemens がイノベーションの先導者として授与された最新の表彰であるが、それは、Siemens が両耳聴におけるより良い改善策、すなわち、その他システムでは達成できない、実用的な効果をもたらす技術開発の最前線ににいる。本稿では、e2e ワイヤレスの歴史の概要、Siemens micon プラットフォームにおける新たなワイヤレスの進歩、そして得られる効果について述べる。

e2e ワイヤレス技術の歴史

2004 年: e2e ワイヤレス

Siemens は、2004 年に補聴器 Acuris に e2e ワイヤレス技術を組み込むことにより、両耳フィッティングにおける両補聴器の同期を初めて可能にした。装用者にとってのこの技術の重要な効果の 1 つは、e2e ワイヤレスによって補聴器本体の操作における同期が可能となったことである。このことは、装用者が片側で音量またはプログラムを変更するだけで、両方の補聴器を調整することができるようになったことを意味する。これにより、リモコンにより便利に補聴器を操作できるようになっただけでなく、移動や機敏な動きが難しい装用者にとっても、より実用的な効果をもたらすことになった。ワイヤレスによる操作の同期は、一組の補聴器の片側にプログラムボタン、そしてもう片方に音量調節を付けることができることも意味する。これにより、補聴器が小さくても多くの機能と操作を行うことが可能となり、その結果初めて、極小の補聴器で患者が音量調節とプログラム操作の両方ができるようになった。e2e 技術を用いた初期段階の研究では、その効果が明らかにされている。例えば、Powers と Burton¹ は、現在使用している補聴器の音量調節やプログラム変更に関して特別な問題がなかった補聴器装用者の大人数グループを用いて研究を実施している。この比較的満足していた装用者のグループにおいても、その 84% が補聴器を調節する際の手間を最小限にする必要があると指摘した。1 つのボタンのみで両耳の補聴器の操作することが重要であったかどうかを尋ねたとき、46% の被験者が『非常にそう思う』と回答し、極少数の被験者が『そう思わない』と回答した。

2005 年にドイツの Hörzentrum Oldenburg で実施された同様の臨床研究では、操作性に関する e2e ワイヤレスの優位性が検証された。軽度～重度の難聴を持つ被験者 40 人が補聴器 Acuris BTE を両耳に装着し、2 週間日常生活でこの補聴器を使用した。研究期間後、被験者の 95% 以上が 1 回のボタン操作でプログラムを変更できることは便利であったと報告し、70% が片側の音量調節で両方の補聴器の利得を調整できるのは便利であったと報告した(図 1 および 2 を参照)。両条件とも、大多数の被験者が『非常にそう思う』と評価した。

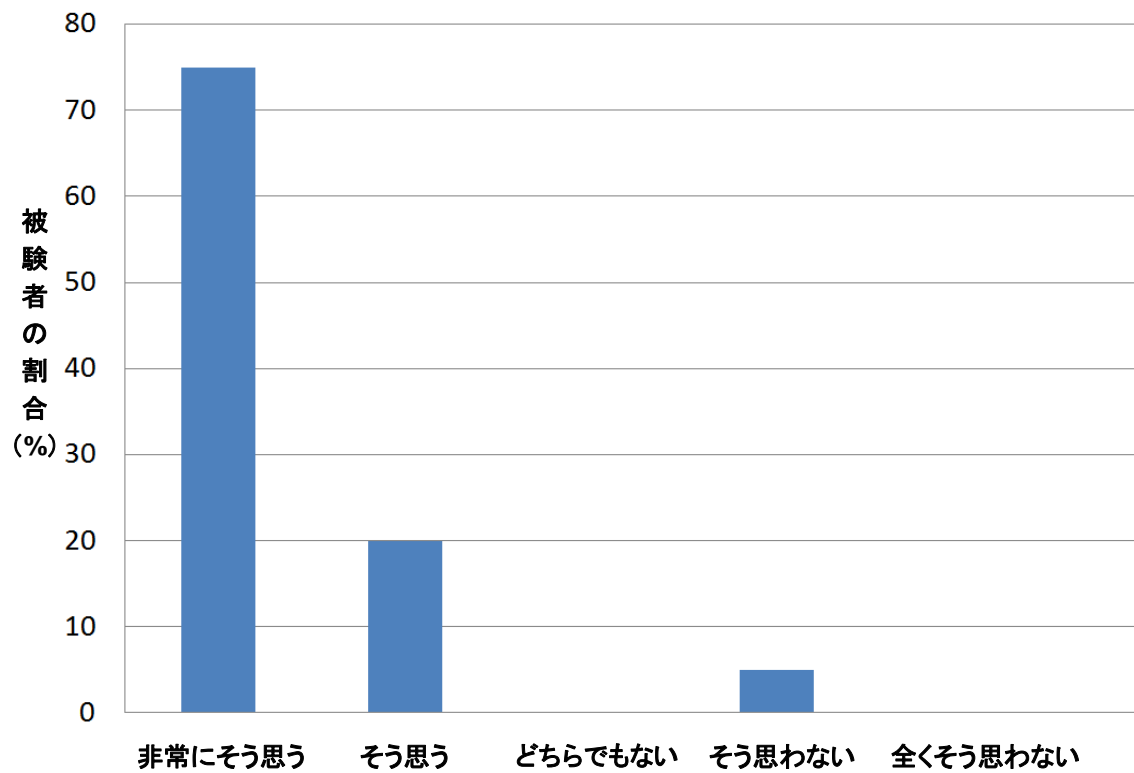


図 1:『片側のボタン操作で、両方の補聴器を操作できるのは便利であったか?』とい質問に対する被験者の回答分布(%)。

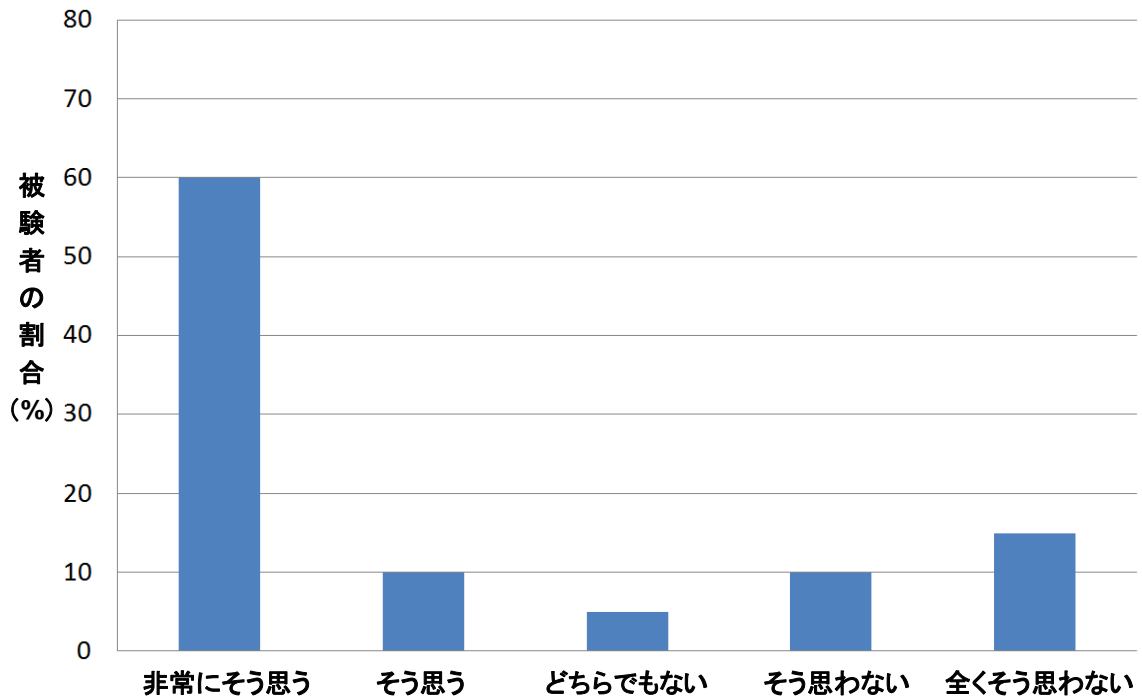


図 2: 『片方の音量調節で両方の補聴器を操作できるのは便利であったか?』という質問に対する被験者の評価の分布(%)。

装用者にとって使い勝手の良さに加え、音量やプログラム設定が同期されることで、両耳間の利得のバランスが常に保たれ、最適な音質と言葉の了解度も確保される。2 点目として、e2e ワイヤレスは、一組の補聴器における信号処理を同期することによって、革新的な効果をもたらす。最も重要なことは両耳における聴取環境の検出が可能となったことである。これにより、指向性マイク技術やデジタル雑音低減アルゴリズムなどのデジタル信号処理機能が、両方の補聴器によって検出された聴取環境に応じて動作するようになる(図 3)。例えば、片方の補聴器が無指向性モードであるのに、もう片方は指向性モードになるというアンバランスな状況を避けることができるのである。図 3 に示すように、2 つの異なる信号が検出された場合、語音が常に優先される。

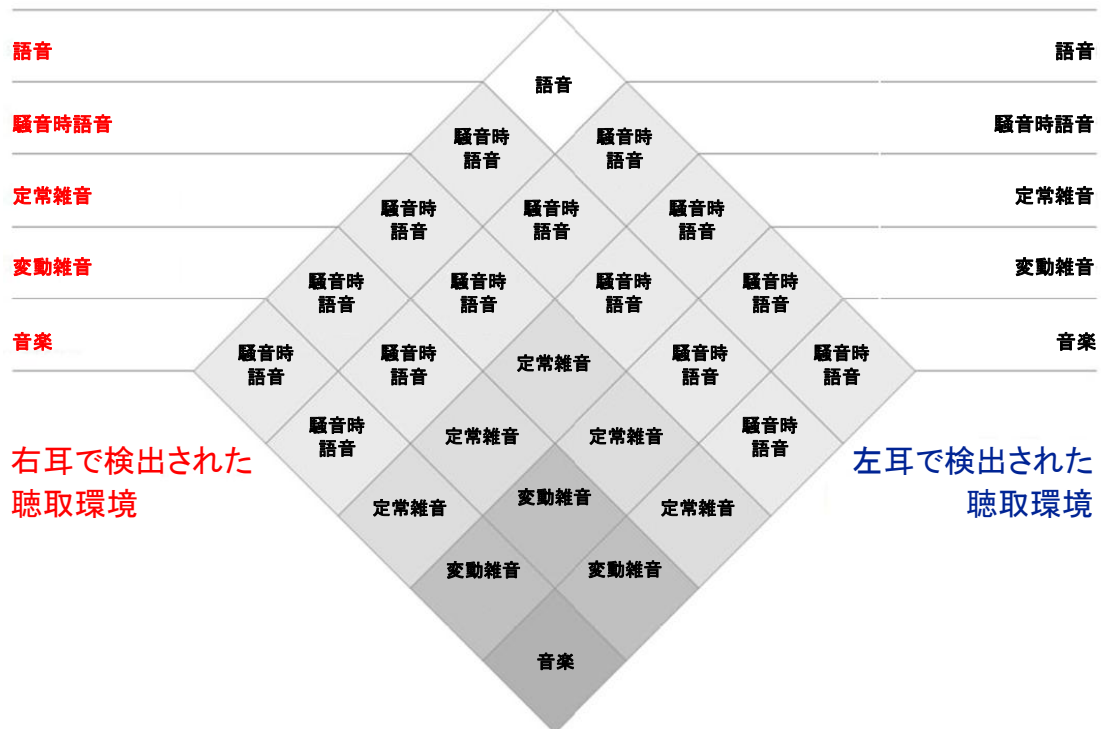


図 3: 両耳フィッティングにおいて、左右の補聴器で検出された聴取環境によって、双方の補聴器が同期して変化するマトリックス図

このような同期システムは、大幅な効果をもたらすことが研究から示されている。例えば、オーストラリア国立音響研究所の Keidser ら²は、聴覚障害者 12 人の定位に対する非同期マイクの影響を検討した。その結果、片方で無指向性マイクモードを使用し、もう片方で指向性マイクモードを使用した場合、左右の定位誤差が最大になることが示された。双方とも無指向性か双方とも指向性かどうかを問わず、マイクモードが一致していれば、定位誤差は約 40% 減少する。空間定位が良好であると、安全性と一般的な環境認識力は向上する。

一部の装用者にとっては、2 つの異なる補聴器の利得を調整することは困難であり、これが音声の理解に影響することは周知の通りである。Hornsby と Mueller³は、装用者による補聴器の利得調整と、その結果として音声の理解に及ぼす影響を、左右の利得の一貫性と調整の信頼性に視点をおいて評価した。Hornsby と Mueller は、最初に処方計算式に従って目標利得にフィッティングをした後、一部の装用者が両耳間で利得の調整を行うことにより、結果として比較的大きな「利得のミスマッチ」が生じたことを見出した。この「ミスマッチ」は、左右の音量調整が一貫していないことが多いことから、調整の信頼性が低いことが示唆されており、e2e ワイヤレス通信による利得調整を行うことの意義を示唆している。

前述のように、e2e ワイヤレスは、指向性機能の同期も保証している。この機能の効果は、『音声了解度に対する同期指向性マイクの影響』を論じた Hornsby と Ricketts⁴によって裏づけられている。軽度～中等度のフラット型、または高音漸傾型感音難聴を有する被験者 16 人を対象に、Hearing in Noise Test (HINT) を用いて、騒音下での補聴器装用時の音声了解度テストが実施された。マイク設定が一致していない場合と比較すると、マイク設定が一致している場合では 1.5 dB の S/N 比の改善が認められた。これは、単語認識が約 15～20%

精度が増したことに相当する。

実験室のデータは e2e ワイヤレス技術をサポートする傾向にあるが、現実世界における有効性を評価することも重要であった。この評価については、英国の国営保健サービスの診療所による大規模多施設プロジェクトにおいて行われた。このプロジェクトでは、e2e ワイヤレスの共有処理および対称的ステアリングによって、現実世界での補聴器装用における機能向上が見られるかどうかを検証した⁵。この研究では、成人被験者 30 人を対象として、補聴器 1 台を装用した場合、e2e を有効にした補聴器 2 台 (同期両耳処理) を装用した場合、そして e2e を無効にした補聴器 2 台 (独立両耳処理) を装用した場合の 3 つの条件を設定した。研究終了時に、各被験者に対して、補聴器 2 台と補聴器 1 台、そして両耳リンク処理ありと両耳リンク処理なしのどちらが好みかを尋ねた。また、被験者は Speech, Spatial and Quality of Hearing (SSQ) の自己評価質問票も記入した。

65% がリンクありの補聴器を好んだのに対し、リンクなしの補聴器を好んだのはわずか 15% であった (残りの 20% は好みなし) ことから、この研究の所見では、全被験者が片耳装用よりも両耳装用を好み、大多数の被験者がリンクなしの補聴器よりもリンクありの補聴器を好んだと結論づけられた。「語音の音質」に関しても、リンクありの補聴器において大幅な正の相関が認められた。SSQ の個々の質問の検証では、リンクありの補聴器が語音領域に関する 14 の設問中 12 の設問、空間領域に関する 17 の設問中 14 の設問で最高の評価を獲得した。

したがって、e2e 技術により、「使いやすさ」が大幅に向上するだけでなく、意思決定と信号処理が同期されることで、さまざまな聴取状況における装用者の全体的な聴取の快適性と語音の理解度も向上している。

2008 年: e2e ワイヤレス 2.0 および Tek Connect:

2008 年に e2e ワイヤレス 2.0 がリモートコントロールユニット Siemens Tek Connect とともに市場にリリースされた。e2e 機能の基本的な機能はそのままに、第 2 世代のワイヤレス通信技術により、データ送信能力が大幅に向上した。補聴器とのリンクに e2e ワイヤレス 2.0 を使用している Tek は、従来の遠隔操作機能に加えて、Bluetooth 対応のストリーミング機能も搭載している。e2e ワイヤレス 2.0 と Tek を融合させることで、外部装置からの音声信号を音の遅延なく、ワイヤレスで補聴器にステレオ配信することが可能となった。このことは、今や補聴器装用者がステレオ音声による電話での会話やテレビの視聴、音楽鑑賞を簡単にワイヤレスでできるようになったことを意味している (図 4)。

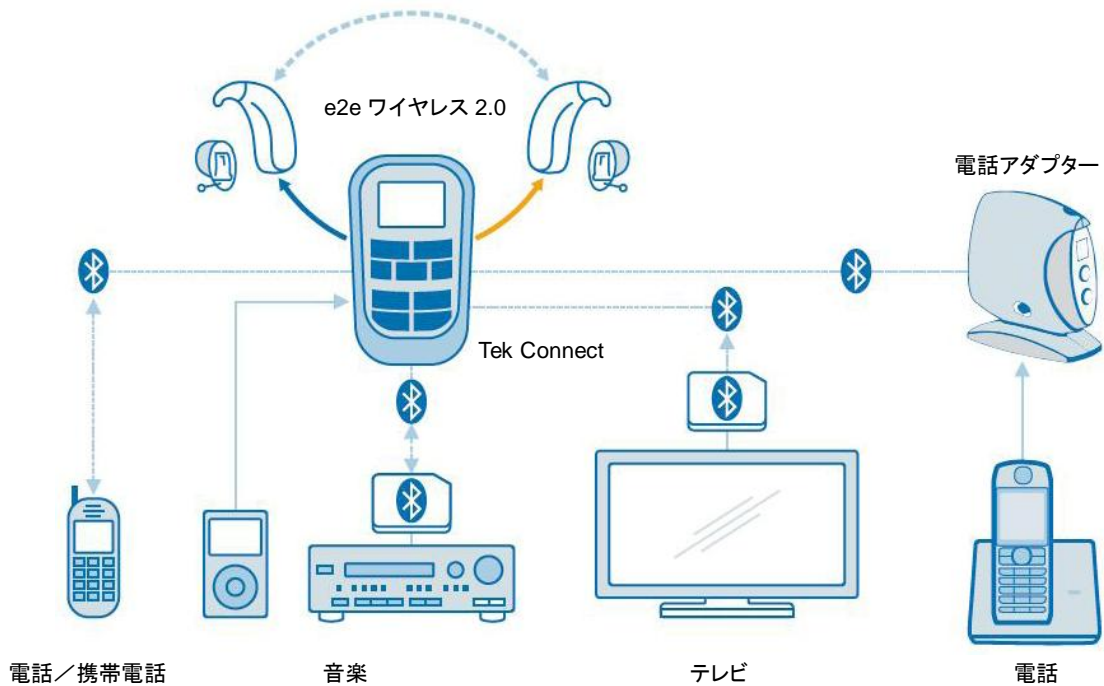


図 4: e2e ワイヤレス 2.0 および Tek Connect を用いて接続できる機器

この機能により、大幅な利便性の向上と目立たない外見が実現された。装用者は今や、電波による干渉雑音やハウリングを気にすることなく、携帯電話をハンズフリーで会話ができ、周りのテレビ視聴者を邪魔することなく、自身の補聴器でテレビの音量を上げたり、ヘッドフォンなしで MP3 プレーヤーの音楽を聴きながら公園の周りをジョギングしたりすることができる。これは、数あるリスニングソースに関する効果のごく一部を挙げたにすぎない。

e2e ワイヤレス 2.0 は聴覚学的にも大幅な効果をもたらしている。これは、ワイヤレス接続が対象信号のみを「クリア」に受信して直接補聴器に送信することにより、環境雑音をカットし、信号対雑音比 (SN 比) を大幅に向上させるためである。これは、特に電話での会話において効果を発揮する。ワイヤレス接続は、聴取者の周囲雑音をカットし、マイクを使用する場合よりも優れた音響結合を行う。両耳装用の場合には、電話の音声は両方の補聴器に送信されるため、装用者は両耳での冗長性と中央での統合性を利用することにより、SN 比を 2~3 dB 改善させることができる⁶。そして当然、両耳で聴取することにより、聴力が優れているほうの耳が常に活用されることになる。

この効果を検証するため、軽度~中等度の感音難聴者 20 人を対象に研究が実施された⁷。全被験者が Tek Connect 対応の Siemens 補聴器を両耳に装着し、カフェテリアにおけるスピーチバブルノイズ下での語音認識テストを行った。検査中は、電話または (Tek Transmitter からの) ワイヤレス送信を通じて、補聴器に常に語音刺激を送った。テスト条件は、通常の電話 (音響的信号)、片耳での単一信号 (ワイヤレスのみ) と混合送信 (ワイヤレス+マイク)、両耳での単一信号 (ワイヤレスのみ) と混合信号 (ワイヤレス+マイク) であった。結果より、Tek を介した電話での両耳聴取は、SN 比を 5 dB 以上改善させたことが示された (図 5)。聞き取りの改善は、混合信号を用いた場合でもほぼ良好であった。Bluetooth で接続

する VoiceLink を使用した場合は、話者が補聴器装用者からかなり離れた場所にいる講堂の環境下でも環境雑音をカットする効果が見られた。

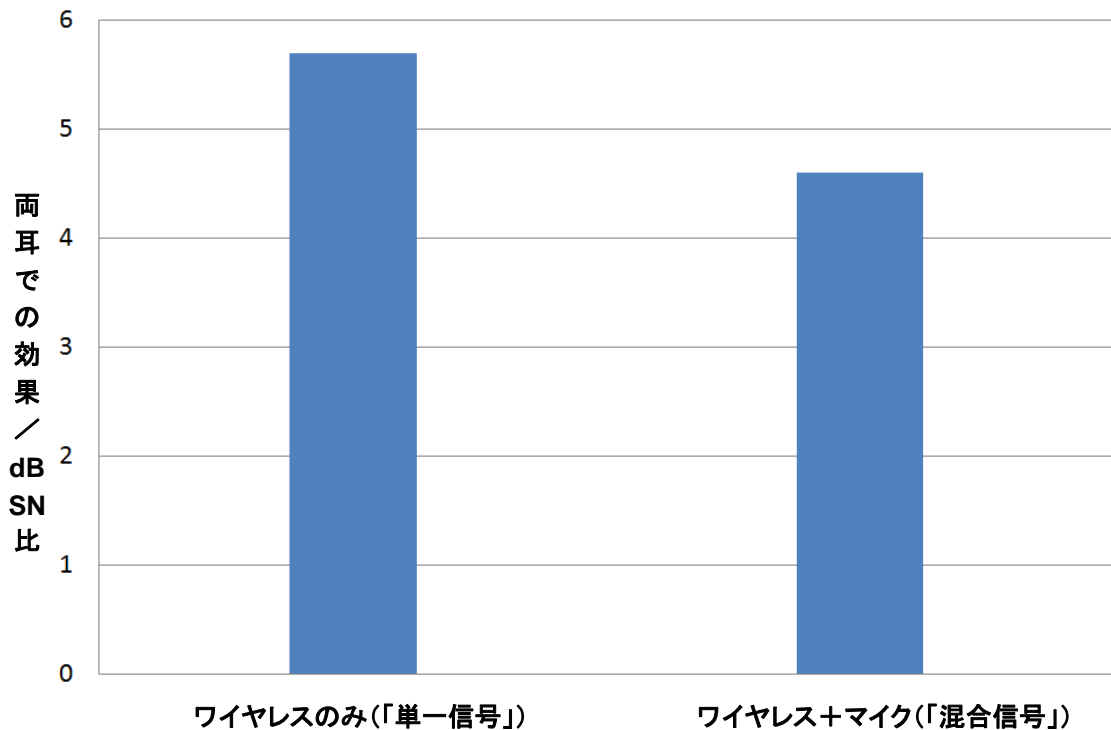


図 5: ワイヤレスのみおよびワイヤレス+マイクという2つの異なる聴取条件での dB SNR の両耳での効果のイメージ図(Picou and Ricketts, 2011 から改変)。

SoundLearning 2.0

最近 Siemens が導入した革新的な補聴器機能の1つに自動学習、すなわち「学習させることができる補聴器」がある。この機能では、補聴器がさまざまな聴取状況での患者の好みの音量レベルおよび周波数特性を「記憶」する。患者が特定の信号(例えば、語音、音楽、不快な背景雑音)に対して音量または音質バランスを調節する度に、補聴器が特定の聴取状況(聴取環境検出システムに基づく)、その聴取環境の音圧レベル、そして患者の希望する利得と音質バランス(周波数特性)を記録する。およそ数週間で補聴器が聴取者の好みを割り出すことが可能で、次に補聴器が同じ聴取環境に遭遇したときに、自動的に同じ設定に切り替えを行う。

Siemens e2e 技術は、業界のベンチマークとなっている学習アルゴリズムである SoundLearning 2.0 にさまざまな点で対応している。まず、SoundLearning 2.0 は、装用者が補聴器本体で調整を行った場合だけでなく、Tek を用いて音量と高音域の音質調整をした場合でも実行される点、次に、ワイヤレス通信によって、2 台の補聴器間での利得調整が同じになり、偏った学習が避けられるという点、そして最後に、e2e ワイヤレス 2.0 は、両方の補聴器からの入力を用いて、現在の聴取環境を正確に把握し、装用者の音量調節が対応する聴取環境と正確にマッチするようにするという点がある。

軽度～中等度の難聴を有する装用経験が豊富な補聴器装用者を対象とした研究では、SoundLearning 2.0 が患者にもたらず効果が検証された⁸。この研究は 2 段階に分けられており、2 週間の自宅での試用期間（被験者はこの期間に補聴器に学習をさせる）の前後におけるフィッティング時の語音了解度を評価した。その所見から、学習完了後の語音了解度は平均して向上が見られることが示された（図 6 を参照）。次に、この研究の第 2 段階において、学習前の最初のフィッティング時の設定と、新たに学習がされた後の設定の 2 つのプログラムで補聴器をフィッティングした。被験者は、再度自宅で試用を行い、どちらのプログラムが好ましいかを評価した。その結果から、被験者の多くが SoundLearning 2.0 を使用して、語音認識が向上する設定になるよう補聴器に学習させただけでなく、より好ましい設定になるよう学習させていたことが示された（図 7）。

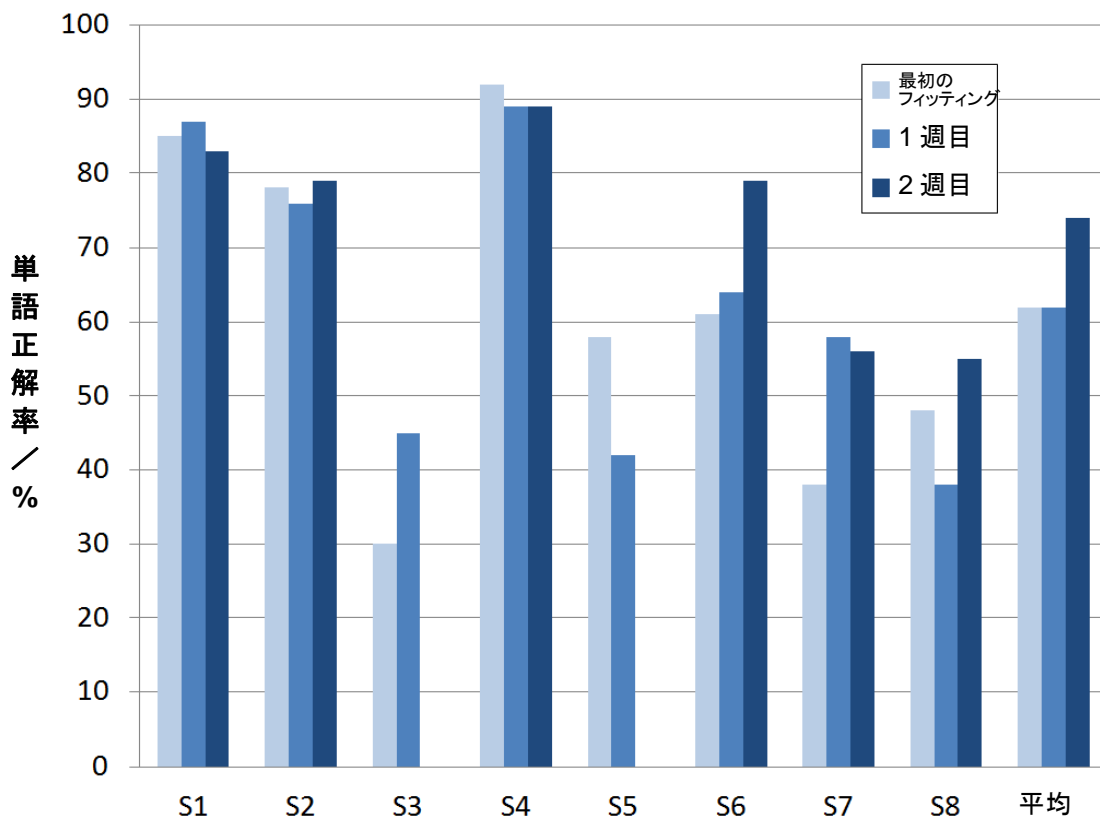


図 6: SoundLearning 2.0 による学習前後の語音了解度の違い(音圧レベル:50dB SPL / 静かな環境下)。被験者 8 人(S1～S8)の結果と平均(右端)を示す。被験者 S3 および S5 は、2 週目の最後での評価完了前に研究から脱落した。

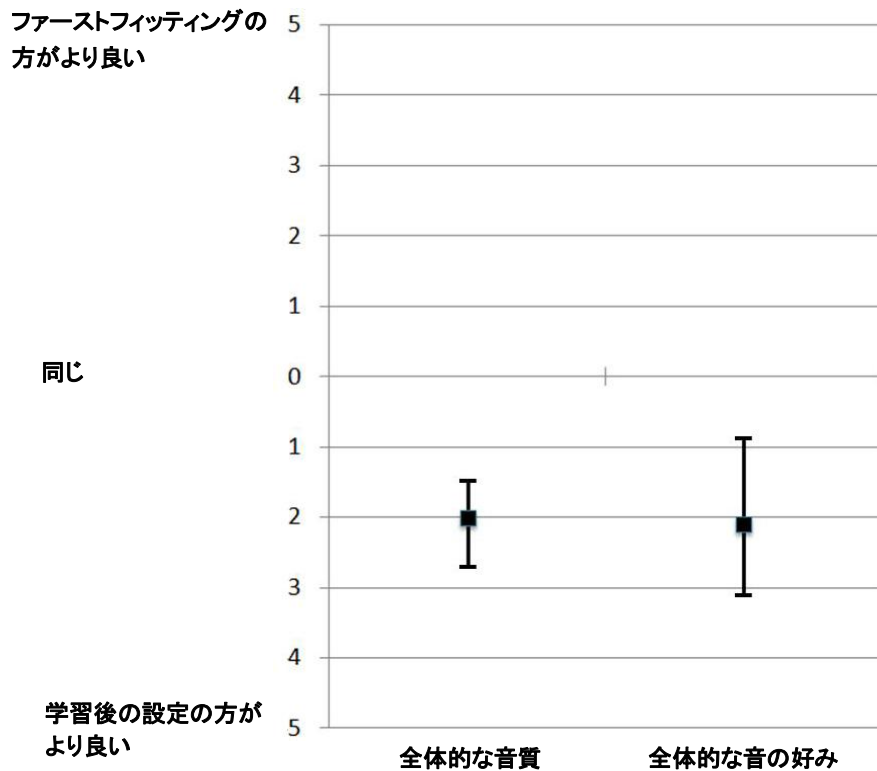


図 7: 実生活での試用期間における最初にプログラムしたフィッティングと学習後の設定に対する好みの評価。結果は中央値および四分位範囲で示す。

Chalupperらのものと類似した所見がPalmer⁹によって報告されている。Palmerは、新規の補聴器の装用者36人を2つのグループに分けた研究において、Siemens SoundLearning 2.0を使用した。一方のグループでは、フィッティング時に学習を開始し、8週間学習を行った。他方のグループは、最初の処方時に補聴器を4週間使用した後に学習を開始し、学習期間は4週間のみとした。両グループとも最初はNAL-NL1の処方計算式でフィッティングをした。学習後の利得の多くはNALと類似したままであった。両グループとも学習後の利得は低レベルの入力に対してわずかに低下した。しかし、騒音時語音認識の結果(HINT)は、両グループとも学習後も変化なしのままであった。最も重要なことは、学習後、被験者36人の89%が学習後のプログラムと元のプログラムとの違いを述べることができ、被験者の65%が学習後の利得プログラムを好んだことである。訓練後の利得を好んだ主な理由は、「快適さを求める」からであった。

これらの研究で示されるように、改良されたe2eワイヤレスとTek Connectを併用することにより、聴取の快適性と語音認識が向上するだけでなく、装用者に利便性ももたらす機能性が実現された。補聴器のサイズやバッテリー消費を大幅に増加することなく機能性を向上させるというe2eワイヤレス技術の当初の意図に沿うことにより、e2eワイヤレス2.0はCIC補聴器にも利用可能である。

2013年:miconプラットフォーム

10年間の成功を振り返った後で、ここからは現在の製品について述べる。e2e ワイヤレス 2.0 技術は、Siemens 補聴器の不可欠な部分であり、多数の洗練された機能として使われている。この技術は、micon プラットフォームで提供されるほぼ全ての補聴器の特徴ともなっており、Tek Connect、miniTek、そしてその他のリモートコントロールユニットとともに動作する。本体に調節機能を備えているこれらの補聴器では、e2e により可能となった分割操作も、これまで以上に洗練されている。ロッカースイッチにより、装用者は、マイクの音量調節、SoundControl(低周波数のみまたは高周波数のみに対する音量調節)、耳鳴マスキング(サウンドジェネレータ)の音量調節、プログラム変更などを組み合わせたり、マッチさせたりすることができる。e2e は、最も大きな語音源が発生する方向に指向性、無指向性および逆指向性(反ハート型)のパターンを自動的に切り替える機能である SpeechFocus を実現するうえでも非常に重要である。特に車で使用する場合、この自動指向性機能は、まず両耳で正確に検出した「車」の状況に基づいて動作し、両耳で検出した会話の方向を検知して動作する。この機能の有効性試験の研究では、大幅な効果が示されている^{10, 11}。

音環境の検出

指向性技術やデジタル雑音低減など、補聴器の特殊機能の効果について議論されることが多いが、実生活において、これらの機能はそれを動かす環境認識システムが精度良く動作しないと意味がないものである。すなわち、検出システムが語音、雑音または騒音環境下での語音聴取を適切に特定していない場合や、音楽を誤って雑音として分類している場合、実生活においては、これらの機能はその効果が意味のないものになる。e2e ワイヤレス 2.0 によって可能となった micon 環境認識アルゴリズムは、静かな環境、静かな環境下での会話、雑音下での会話、雑音、音楽、そして車という異なる6つの音環境の検出が可能な micon プラットフォームの不可欠な部分である。実際、この両耳環境検出システムは、その洗練されたシステムと精度で、業界のベンチマークとなっている。最近、補聴器の主要なリーディングカンパニー5社の最も優れた製品を用いたベンチマーク研究が実施された。防音室で、異なる聴取環境(静かな環境、静かな環境での会話、騒音下での会話、雑音、音楽、車)における音声記録を1つの音サンプルあたり16時間連続で補聴器に曝露した。各聴取環境の後、各補聴器においてデータ記録の結果を読み取り、正確な状況を特定している割合を算出した。その結果から、Siemens が各聴取環境の間で最も正確な聴取環境を検出していることが明らかになった(図8を参照)。静音時語音では、評価を行った全メーカーにおいて容易に特定されていたが、雑音下での会話および雑音については、他の多くのメーカーに課題を残す結果となった。Siemens は、この2つの状況において、それぞれ83%および84%の精度で検出した。比較すると、A、C、D各社の補聴器は、この2つの状況に対する正確な特定が大幅に低かったことが認められる。B社の補聴器も、かなり精度の高い環境認識システムを有しているように思われるが、これが静かな環境での会話、騒音下での会話および雑音のみの検出の場合に限定されることに注意したい。車または音楽専用の分類がされていない他の補聴器と同じく、B社の補聴器は、これらの特定の聴取環境を誤って分類し、その結果、最適なレベル以下で信号処理が行われてしまうおそれがある。

Siemens は他社に比べ優れた環境分析を行っており、Siemens の補聴器が特定の音サンプルに対して誤った分類をする確率が高かったにもかかわらず、Siemens はより正確な環境の検出に成功していることも特筆に値する。

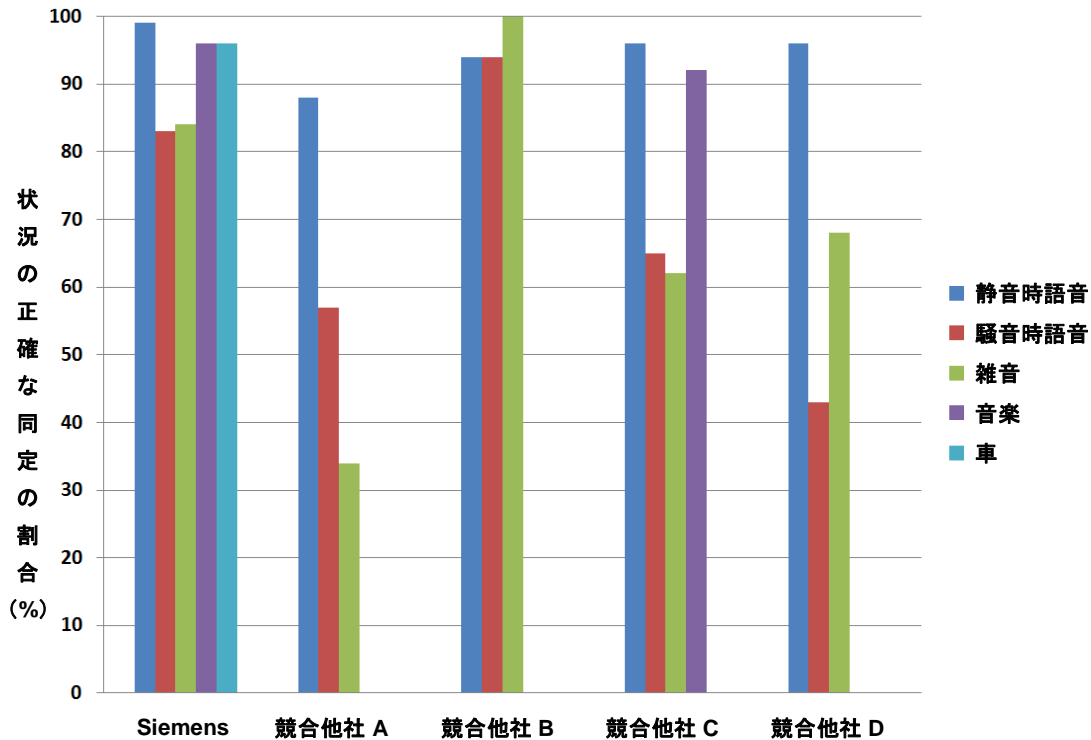


図 8: 主要な補聴器メーカー(5 社)の各最上位クラスの製品による聴取環境検出の精確さ。評価した環境は、静かな環境、静かな環境での会話、騒音下での会話、雑音、音楽、そして車の 6 パターン。

結論

上述のように、Siemens ワイヤレスシステムによる成功と技術の発展は 10 年間にわたって続いてきた。現代の補聴器における多くの高度な機能は、e2e ワイヤレス 2.0 などの技術を介した補聴器間の効果的な通信に依存している。これらの機能により、操作性、聴取の快適性および可聴性の向上がもたらされている。極めて近い将来、今まで以上により洗練された判断力のある処理を提供するために、より多くのアルゴリズムおよび技術がこの両耳ワイヤレス技術を利用し、両方の補聴器からの情報に対して相乗効果を与えるだろう。しかし、これらの新機能の必要条件として、日常使用における実用的な効果を提供しなければならないということを常に心に留めておくべきである。具体的には、過剰なバッテリー消費を生じることなく必要なときに動作できるように、高いエネルギー効率も必要である。また、絶えず変化する現実世界の状況において効果を発揮するためには、装用者が操作しなくても自動で

反応し、その反応が十分に速い必要がある。これら全ての条件が満たされた場合にのみ、2つの補聴器が一体化したシステムとして働き、より自然に近い両耳聴ができるようになるのである。Siemens は、引き続きこの道を磨き続け、補聴器の装用価値を高める革新的なソリューションを導入し、業界全体を後押ししていくであろう。

References

1. Powers TA, Burton, P (2005). Wireless technology designed to provide true binaural amplification. *Hear Jour.* 2005; 58(1): 25-34.
2. Keidser G, Rohrseitz K, Dillon H, Hamacher V, Carter L, Rass U, Convery E. The effect of frequency specific directionality on horizontal localisation. *Int J Audiol.* 2006; 45(10): 563-579.
3. Hornsby BW, Mueller HG. User preference and reliability of bilateral hearing aid gain adjustments. *J Am Acad Audiol.* 2008; 19(2): 158-70.
4. Hornsby BW, Ricketts TA. Effects of noise source configuration on directional benefit using symmetric and asymmetric directional hearing aid fittings. *Ear Hear.* 2007; 28(2): 177-86.
5. Smith P, Davis A, Day J, Unwin S, Day G, Chalupper J. Real-World Preferences for Linked Bilateral Processing. *Hear Jour.* 2008; 61(7): 33-38.
6. Dillon H. *Hearing Aids.* (1st ed.). 2001. New York: Thieme.
7. Picou EM, Ricketts TA. Comparison of Wireless and Acoustic Hearing Aid-Based Telephone Listening Strategies. *Ear Hear.* 2011; 32(2): 209-220.
8. Chalupper J, Junius D, Powers TA. Algorithm lets users train aid to optimize compression, frequency shape, and gain. *Hear Jour.* 2009; 62(8): 26,28,30-33.
9. Palmer CV (2012). *Implementing a gain learning feature.* 2012. Live webinar presented on April 30th on *AudiologyOnline.com*. Course # 19950.
10. Chalupper J, Wu YH, Weber J. New algorithm automatically adjusts directional system for special situations. *Hear Jour.* 2011; 64(1): 26-33.
11. Mueller HG, Weber J, Bellanova M. Clinical evaluation of a new hearing aid anticardiod directivity pattern. *Int J Audiol.* 2011; 50(4): 249-54.